

# 水处理

第二版

Second  
Edition

## 新技术、新工艺与设备

白润英 · 主编      肖作义   宋 蕾 · 副主编

SHUICHULI  
XINJISHU XINGONGYI  
YU SHEBEI



化学工业出版社

# 水处理



## 新技术、新工艺与设备

白润英 · 主编      肖作义   宋 蕾 · 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

元 09 84 00 00

本书对近年来出现的水处理新技术做了较为系统的整理,包括超临界水氧化技术、湿式氧化新技术、TiO<sub>2</sub>光催化氧化技术、膜处理技术、污水生物脱氮除磷新工艺、污水生物处理新工艺、自然生物净化技术、污泥处理处置新技术、管道分质供水技术以及水处理工艺设备等,对这些新技术与新工艺的最新研究成果和发展动向也做了阐述。

本书可作为高等学校环境科学与工程、市政工程等专业师生的教学参考书,也可作为市政设计研究院、水处理公司技术人员和研究人员在研究新技术、开发新产品时的参考书。



# 水处理

## 备类已艺工疏 水处除

### 图书在版编目(CIP)数据

水处理新技术、新工艺与设备/白润英主编. —2版. —北京:  
化学工业出版社, 2017.6  
ISBN 978-7-122-29527-9

I. ①水… II. ①白… III. ①污水处理-高技术②污水处理设备  
IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 086879 号

责任编辑:董琳

装帧设计:韩飞

责任校对:王素芹

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:北京市国马装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张15½ 字数398千字 2017年7月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

近年来，伴随着经济的发展，污水产生量大幅增加。编者针对我国水体水质及污染现状，对当前我国水处理技术进行分析评价，并介绍水处理技术发展的最新状况，包括给水处理新技术的发展状况、污水处理最新出现的新技术、新系统以及污水处理可持续发展发展的状况及理念，如膜处理技术、TiO<sub>2</sub>光催化氧化技术、超临界水氧化技术、湿式氧化新技术、自然生物净化技术以及管道分质供水技术等，并指出未来水处理技术及相关产业的发展方向。在介绍新技术和新工艺的时候，特别指出了其各自的局限性和解决方法，并明确尚需解决的问题。

伴随着污水处理量的大幅增加，污泥产量也大幅增加。2015年4月国务院发布的《水污染防治行动计划》（简称“水十条”），对污泥的处理处置提出了严格要求，因此污泥的处理处置成为热点。本书提出了我国污泥处理处置存在的问题以及解决途径，总结归纳了各国污泥资源化、能源化处置新技术，以便读者把引进、消化和改进、创新结合起来并因地制宜地应用。

本书的主旨是向读者介绍近年来国内外水处理尤其是水污染治理的新技术、新工艺和相关的水处理设备技术，以及市政污泥的处理处置新技术，使读者能够了解当前国内外水处理及污泥处理技术的最新研发成果和工程实践经验。

本书由白润英主编，肖作义、宋蕾副主编，李冶婷、杜晓力、吴贤格参与了本书的编写工作。肖明慧、徐慧、胡文斌参与了资料收集和整理工作，包建伟、陈槟颖、李白月对本书的编写提供了帮助，在此一并表示感谢。

本书可作为高等学校环境科学与工程、市政工程等专业师生的教学参考书，也可作为市政设计研究院、水处理公司技术人员和研究人员在研究新技术、开发新产品时的参考书。

本书在编写过程中参考引用了一些国内外文献及相关资料，在此对所有作者表示诚挚的谢意。本书所涉及的水处理新技术、新工艺较多，由于编者知识有限，书中可能有疏漏之处，请读者不吝赐教。

编者

2017年1月

# 第一版前言

近年来，水资源的日趋短缺和水环境污染制约了人类社会和经济的可持续发展，严重威胁着人类生存，迫使人们必须认真对待。这一时期，人们在水污染治理方面，做了大量的研究、开发和工程实践，出现了一些比传统处理技术和工艺更加有效的新技术和新工艺。本书的主旨是向读者介绍近年来国内外水处理尤其是水污染治理的新技术、新工艺以及相关的水处理设备技术，同时还介绍了污泥减量新技术，使读者能够了解当前国内外水处理技术的最新研发成果和工程实践经验。

编者查阅了相关期刊和文献，跟踪了解水处理技术的发展过程和当前达到的技术水平，对近年来出现的水处理新技术做了较为系统的整理，包括超临界水氧化技术、湿式氧化新技术、光催化氧化技术、膜处理技术、污水生物脱氮除磷新技术、污水生物处理新技术、自然生物净化技术、污泥处理新技术以及管道分质供水技术等。对这些新技术与新工艺的最新研究成果和发展动向也做了一定阐述。在介绍新技术和新工艺的时候，特别指出了其各自的局限性和解决方法，并明确尚需解决的问题，以便读者把引进、消化和改进、创新结合起来并因地制宜地应用。

本书由白润英主编，其中第1、8、11章由肖作义编写；第10章由吴贤格编写；第5章第2节、第3节由李冶婷、李刚编写；第7章第1节由魏欣、张宇编写；第6章第2节、第3节由宋蕾、宋虹苇、陈霄编写；第3章第2节由张进、云霞编写、第3节由杜晓力、刘晓霞编写；其余由白润英编写；肖明慧参加绘图及整理文稿的工作。

本书可作为高等学校环境科学与工程、市政工程等专业师生的教学参考书，也可作为市政设计研究院、水处理公司技术和研究人员在研究新技术、开发新产品时的参考书。

本书在编写过程中参考引用了一些国内外文献及相关资料，在此对所有作者表示诚挚的谢意。本书所涉及的水处理新技术、新工艺较多，由于编者知识有限，书中可能有疏漏之处，请读者不吝赐教。

编者

2011年11月

# 目 录

## 第 1 章 水处理基本知识及技术发展 1

1.1 水体水质状况	1
1.2 水污染物质及危害	4
1.2.1 固体污染物	5
1.2.2 有机污染物	5
1.2.3 油类污染物	6
1.2.4 有毒污染物	6
1.2.5 生物污染物	6
1.2.6 酸碱污染物	6
1.2.7 营养物质污染物	7
1.2.8 感官污染物	7
1.2.9 热污染	7
1.3 水污染物造成的损失	8
1.4 水质指标	8
1.4.1 理化指标	8
1.4.2 有机污染综合指标及营养盐	10
1.4.3 生物指标	12
1.4.4 放射性指标	13
1.5 常规水处理技术及典型工艺流程	13
1.5.1 常规给水处理技术及典型工艺流程	13
1.5.2 常规污废水处理技术及典型工艺流程	13
1.6 水处理技术的发展	25
1.6.1 给水处理技术发展	25
1.6.2 污废水处理技术发展	26
1.7 我国水处理技术评价与发展方向	29
1.7.1 我国水处理技术评价	29
1.7.2 未来饮用水水质主要问题	30
1.7.3 未来水处理技术与产业的发展方向	32

## 第 2 章 超临界水氧化技术 33

2.1 超临界水氧化技术概述	33
2.2 基本原理	34
2.2.1 超临界水的概念及性质	34
2.2.2 超临界水氧化原理及反应机理	36
2.3 超临界水氧化技术的工艺及反应器	37

2.3.1	超临界水氧化技术的工艺	37
2.3.2	超临界水氧化反应器	38
2.4	超临界水氧化技术的应用及评价	40
2.4.1	超临界水氧化技术的应用	40
2.4.2	超临界水氧化技术的评价	46
2.4.3	超临界水氧化技术的运行成本	48
2.5	催化超临界水氧化技术	48

### **第3章 湿式氧化新技术** **50**

3.1	湿式氧化技术概述	50
3.2	湿式氧化技术	50
3.2.1	湿式氧化基本原理	50
3.2.2	湿式氧化的主要影响因素	53
3.3	湿式氧化工艺	54
3.3.1	催化剂的研究进展	55
3.3.2	催化湿式氧化法与其他方法的协同作用	56
3.4	湿式氧化法的工程应用	57
3.4.1	处理染料废水	57
3.4.2	处理农药废水	58
3.4.3	处理含酚废水	58
3.4.4	处理污泥	59
3.4.5	处理垃圾渗滤液	59
3.5	湿式氧化技术的评价	60

### **第4章 TiO<sub>2</sub>光催化氧化技术** **61**

4.1	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化技术概述	61
4.1.1	光催化氧化技术概述	61
4.1.2	光催化氧化技术应用前景	63
4.2	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化技术	64
4.2.1	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化反应机理	64
4.2.2	TiO <sub>2</sub> 催化剂	65
4.2.3	光催化反应器	70
4.2.4	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化的影响因素	74
4.2.5	提高 TiO <sub>2</sub> 光催化反应效率的途径	76
4.3	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化在废水处理中的应用	80
4.3.1	水中有机化合物的光催化降解	80
4.3.2	水中无机污染物光催化氧化还原	83
4.4	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化在废气治理中的应用	83
4.5	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化的其他应用	84
4.6	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化存在的问题及发展前景展望	85
4.6.1	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化存在的问题	85
4.6.2	TiO <sub>2</sub> 光催化氧化技术的发展方向及前景展望	86

## 第5章 膜处理技术 88

5.1 膜式给水处理技术概述 .....	88
5.1.1 膜分离技术概述 .....	88
5.1.2 现代组合膜技术在给水处理中的应用 .....	90
5.2 膜技术在污废水处理中的应用 .....	91
5.2.1 膜生物处理 (MBR) 技术概述 .....	92
5.2.2 膜生物反应器 (MBR) 的主要类型及各自特点 .....	93
5.2.3 膜生物反应器的运行控制参数对运行效果的影响 .....	97
5.2.4 MBR 存在的主要问题及对策 .....	98
5.3 国内外商品化 MBR 及其应用 .....	101
5.3.1 国内外商品膜生物反应器 .....	101
5.3.2 MBR 在国内外的工程应用 .....	102
5.4 MBR 技术工程实例 .....	105
5.4.1 Kubota 膜生物反应器与传统工艺相比的优势 .....	105
5.4.2 Kubota 平板膜组件的构成 .....	106
5.4.3 Kubota 平板膜运行 .....	107
5.4.4 Kubota 平板膜的清洗 .....	107
5.4.5 Porlock 污水厂运行效能 .....	107

## 第6章 污水生物脱氮除磷新工艺 108

6.1 基本原理及影响因素 .....	108
6.1.1 生物脱氮原理及影响因素 .....	108
6.1.2 生物除磷基本原理及影响因素 .....	110
6.2 传统生物脱氮除磷工艺概述 .....	111
6.2.1 传统生物脱氮除磷工艺 .....	111
6.2.2 传统生物脱氮除磷工艺存在的问题 .....	112
6.3 生物脱氮除磷新工艺与新技术 .....	112
6.3.1 污水生物脱氮新技术 .....	112
6.3.2 污水生物脱氮除磷新技术与新工艺 .....	118
6.4 废水生物脱氮除磷技术工程实例 .....	121
6.4.1 新建污水厂脱氮除磷工艺 .....	121
6.4.2 传统污水处理厂脱氮除磷改造工艺 .....	122

## 第7章 污水生物处理新工艺 124

7.1 几种代表性的污水生物处理新工艺 .....	124
7.1.1 Linpor 工艺 .....	124
7.1.2 曝气生物滤池工艺 .....	126
7.1.3 生物接触氧化工艺 .....	131
7.1.4 射流式 SBR 工艺 .....	133
7.1.5 Unitank 工艺 .....	133
7.1.6 MSBR (CSBR) 工艺 .....	134
7.1.7 新型 UniFed SBR 工艺 .....	135



7.1.8	SBBR 工艺	137
7.1.9	Biolak (百乐克) 工艺	140
7.1.10	厌氧生物处理工艺进展	141
7.2	其他生物处理新技术	144
7.2.1	生物技术处理高浓度有机废水	144
7.2.2	生物速分技术及生物降解粪便处理技术	145
7.2.3	利用微生物治理水体污染	145
7.2.4	组合及改造新工艺	147
7.2.5	一级强化处理工艺	148
7.3	废水生物处理技术的经济性分析	148
7.3.1	废水生物处理技术的经济性分析	148
7.3.2	当前提高生物处理经济性的方法	150
7.4	生物处理新工艺工程实例	151
7.4.1	UniFed 新型脱氮除磷工艺的应用	151
7.4.2	气浮-曝气生物滤池-膜生物反应器处理洗浴废水回用工程	151
7.4.3	Unitank 工艺应用	152

## **第 8 章 自然生物净化技术** 154

8.1	稳定塘污水处理技术	154
8.1.1	稳定塘污水处理技术概述	154
8.1.2	稳定塘污水处理技术的应用现状与发展	160
8.2	好氧塘、兼性塘、厌氧塘、曝气塘	162
8.2.1	好氧塘的工作原理与设计要求	162
8.2.2	兼性塘的工作原理与设计要求	164
8.2.3	厌氧塘的工作原理与设计要求	165
8.2.4	曝气塘的工作原理与设计要求	166
8.3	人工湿地处理技术	167
8.3.1	人工湿地的类型及其特点	167
8.3.2	人工湿地的应用	168
8.4	废水土地处理系统	170
8.4.1	废水土地处理系统概述	170
8.4.2	废水土地处理系统的类型	170
8.4.3	土地处理系统的优势和特点	173
8.4.4	废水土地处理系统各工艺类型比较	175
8.4.5	废水土地处理系统的规划	176
8.5	自然生物净化技术工程实例	177
8.5.1	氧化塘污水处理技术在长春客车厂区的应用	177
8.5.2	厌氧/接触氧化/稳定塘工艺处理化工制药废水	179
8.5.3	天津人工湿地处理废水工程	180

## **第 9 章 污泥处理处置新技术** 182

9.1	污泥处理处置技术概述	182
9.1.1	我国污水污泥产量	182

9.1.2	我国污泥处理处置现状	183
9.1.3	污泥处理处置技术展望	183
9.2	利用水生蠕虫减量污泥技术	184
9.2.1	利用蠕虫减量污泥技术研究现状	184
9.2.2	利用蠕虫减量污泥技术的稳定性研究	189
9.3	其他污泥减量技术	195
9.3.1	向污水处理系统投加微生物制剂	195
9.3.2	解偶联减量剩余污泥技术	196
9.3.3	剩余污泥零排放的污水处理技术	197
9.4	剩余污泥处理处置技术	198
9.4.1	污泥常规处理处置方法	198
9.4.2	回流污泥溶胞技术减量剩余污泥	199
9.4.3	污泥资源化、能源化处置新技术	201
9.5	污泥处理新技术的工程应用	202
9.5.1	利用蠕虫减量污泥工程应用的技术分析	202
9.5.2	蠕虫减量污泥工程应用的经济分析	203

## **第10章 管道分质供水技术** **205**

10.1	我国管道分质供水的发展概述	205
10.2	我国管道分质供水的形式	205
10.2.1	城市管道分质供水	205
10.2.2	小区管道分质供水	206
10.3	我国管道分质供水水处理技术	206
10.3.1	管道分质供水深度处理技术	206
10.3.2	管道分质供水消毒技术	207
10.4	管道分质供水系统工艺设计	208
10.4.1	管道分质供水管网系统设计原理	208
10.4.2	管道分质供水系统的计算与参数的规格选择	210
10.5	我国管道分质供水技术的应用前景	214

## **第11章 水处理工艺设备** **216**

11.1	曝气装置与设备	216
11.1.1	鼓风曝气扩散装置	216
11.1.2	机械曝气设备	221
11.2	污泥浓缩设备与脱水设备	223
11.2.1	污泥浓缩设备	223
11.2.2	污泥脱水设备	224
11.3	污泥干燥设备与焚化设备	229
11.3.1	污泥干燥设备	229
11.3.2	污泥焚化设备	230
11.4	水处理工艺设备的应用举例	233

## **参考文献** **235**

# 第 1 章

## 水处理基本知识及技术发展

### 1.1 水体水质状况

我国环境保护部《2015 年中国环境状况公报》通报了全国地表水、湖泊水库、地下水、近岸海域以及几个重要海湾的水质状况。

地表水主要包括长江、黄河、珠江、松花江、淮河、海河、辽河七大流域和浙闽带河流、西北诸河和西南诸河。地表水水源地主要超标指标为总磷、锰和铁，2015 年地表水水质见图 1-1。

967 个地表水国控断面(点位)水质监测情况

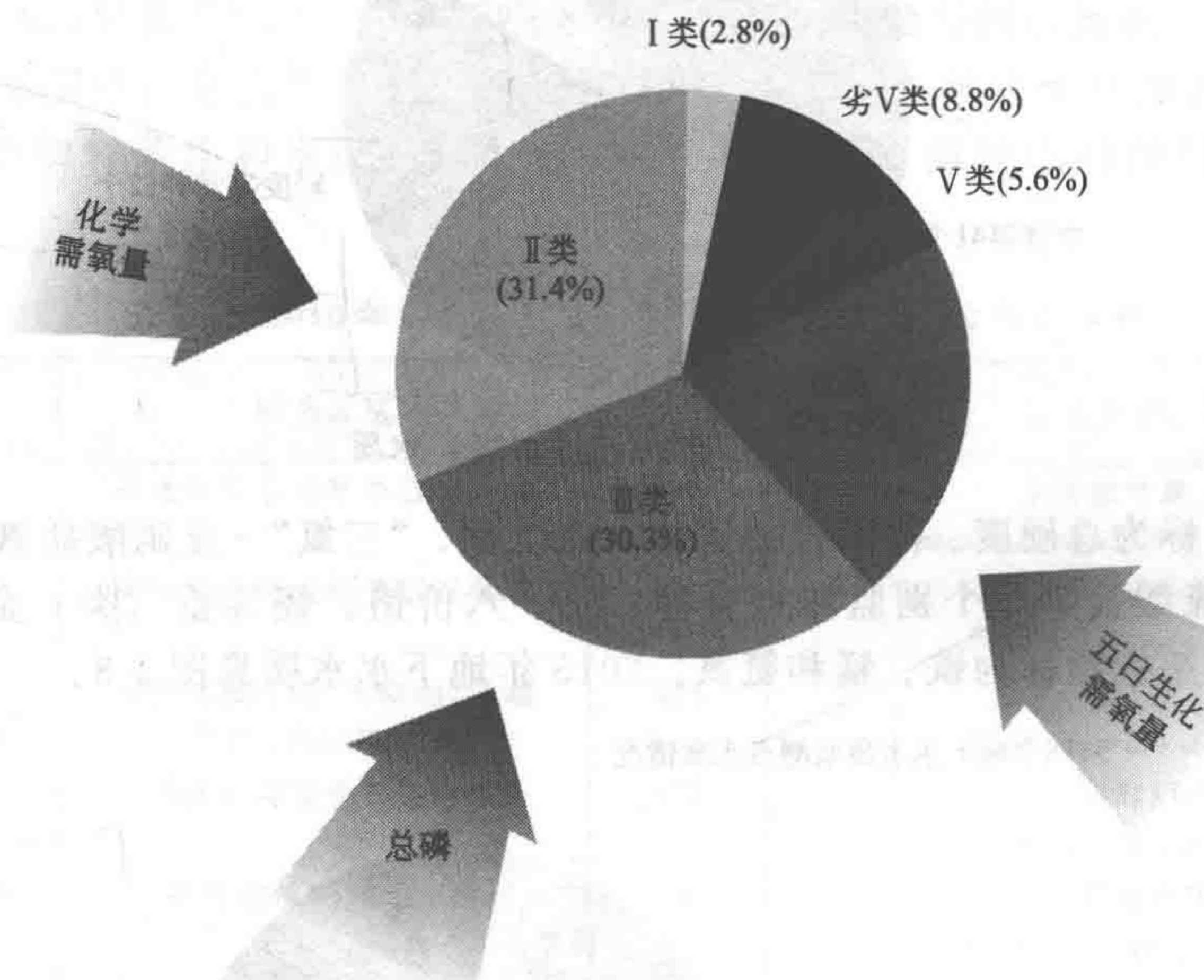


图 1-1 2015 年地表水水质

全国地表水 I 类水质断面比例 2015 年比 2014 年同比下降 0.6%，2015 年新环保法实施第一年全国地表水达到或好于 III 类水质的断面比例为 64.5%，比 2010 年提高了 14.6%，劣 V 类水质比例下降 6.8%，近八成劣 V 类水体集中于淮河流域、海河流域、辽河流域、黄河流域。总体上，水质稳中趋好，良好水体保护形势严峻。

全国 61 个重点湖泊（水库）主要污染指标为总磷、化学需氧量和高锰酸盐指数。2014 年重点湖泊（水库）水质状况见表 1-1，2015 年湖泊（水库）水质见图 1-2。

表 1-1 2014 年重点湖泊（水库）水质状况

水质状况	三湖	重要湖泊	重要水库
优		斧头湖、洪湖、梁子湖、洱海、抚仙湖、泸沽湖	密云水库、丹江口水库、松涛水库、太平湖、新丰江水库、石门水库、长潭水库、千岛湖、隔河岩水库、黄龙滩水库、东江水库、漳河水库
良好		瓦埠湖、南四湖、南漪湖、东平湖、升金湖、武昌湖、骆马湖、班公错	于桥水库、崂山水库、董铺水库、峡山水库、富水水库、磨盘山水库、大伙房水库、小浪底水库、察尔森水库、大广坝水库、王瑶水库、白莲河水库
轻度污染	太湖、巢湖	阳澄湖、小兴凯湖、高邮湖、兴凯湖、洞庭湖、菜子湖、鄱阳湖、阳宗海、镜泊湖、博斯腾湖	尼尔基水库、莲花水库、松花湖
中度污染		洪泽湖、淀山湖、贝尔湖、龙感湖	
重度污染	滇池	达赉湖、白洋淀、乌伦古湖、程海(天然背景值较高所致)	

61个湖泊(水库)营养状态监测结果

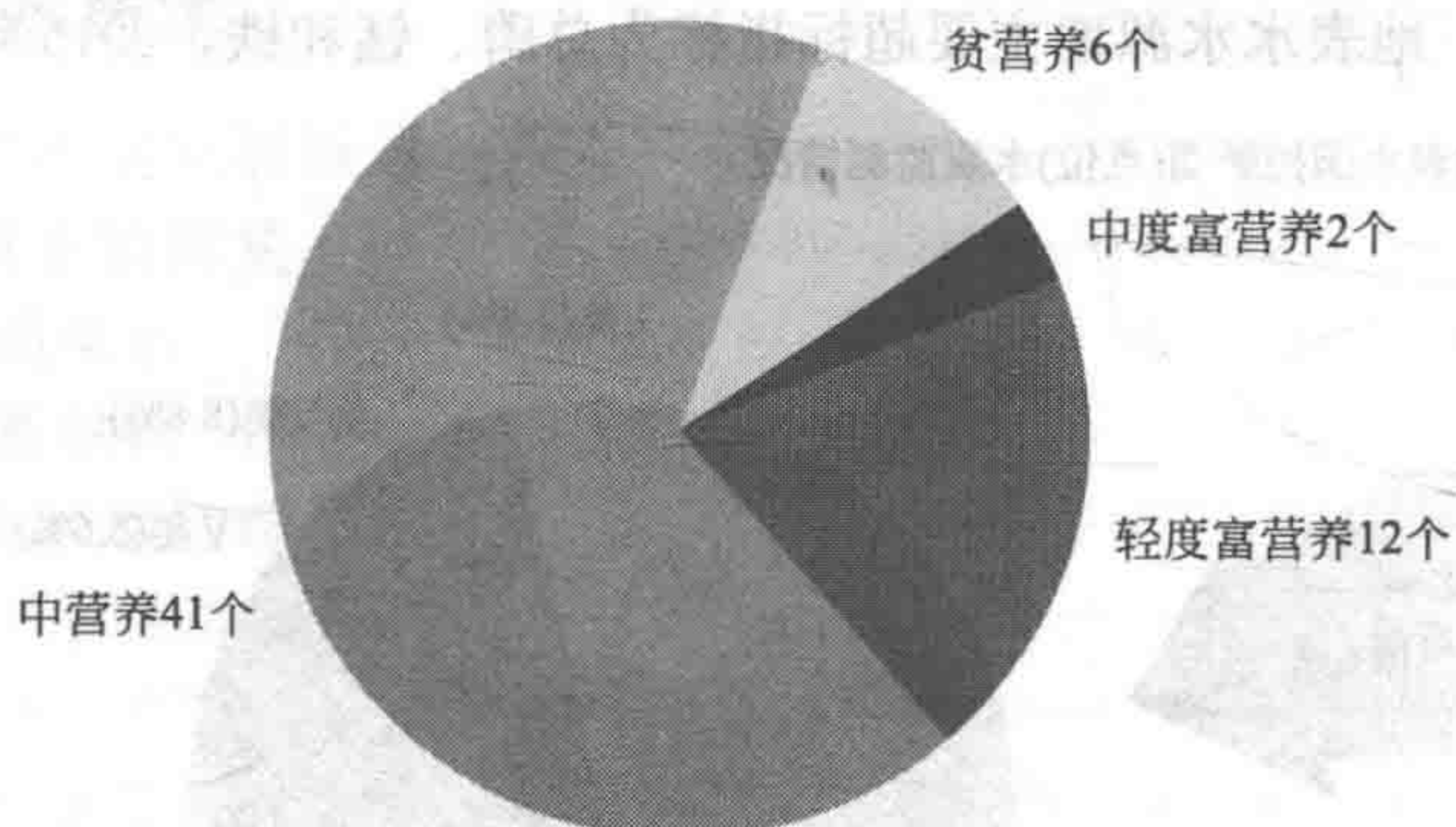


图 1-2 2015 年湖泊（水库）水质

地下水超标指标为总硬度、溶解性总固体、铁、锰、“三氮”（亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和氨氮）、氟化物、硫酸盐等，个别监测点有砷、铅、六价铬、镉等重（类）金属超标现象。地下水水源地主要超标指标为铁、锰和氨氮。2015 年地下水水质见图 1-3。

5118个地下水水质监测点水质情况

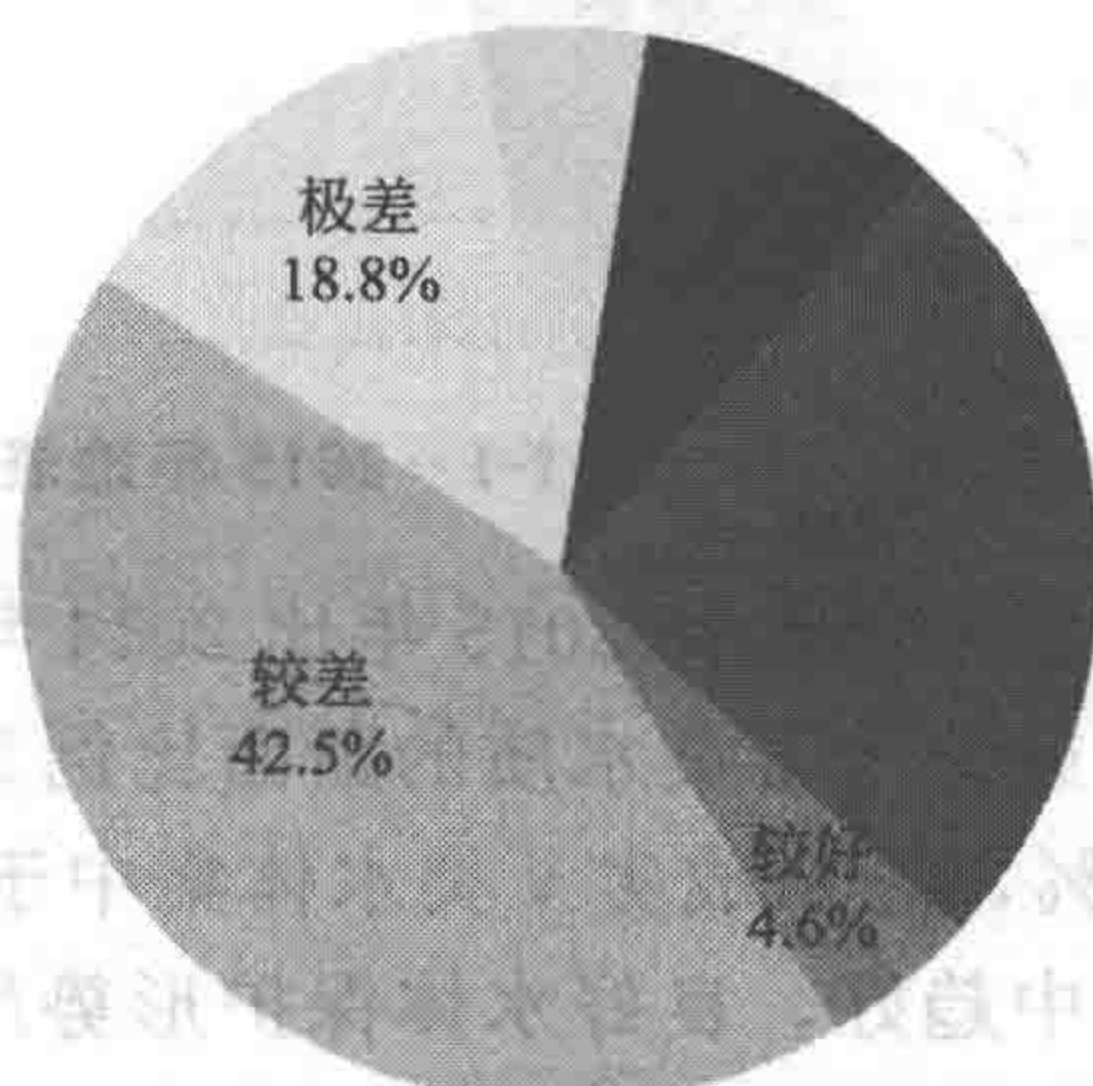


图 1-3 2015 年地下水水质

近岸海域主要污染指标为无机氮和活性磷酸盐，2015年近岸海域水质见图1-4。

全国近岸海域301个国控监测点监测结果

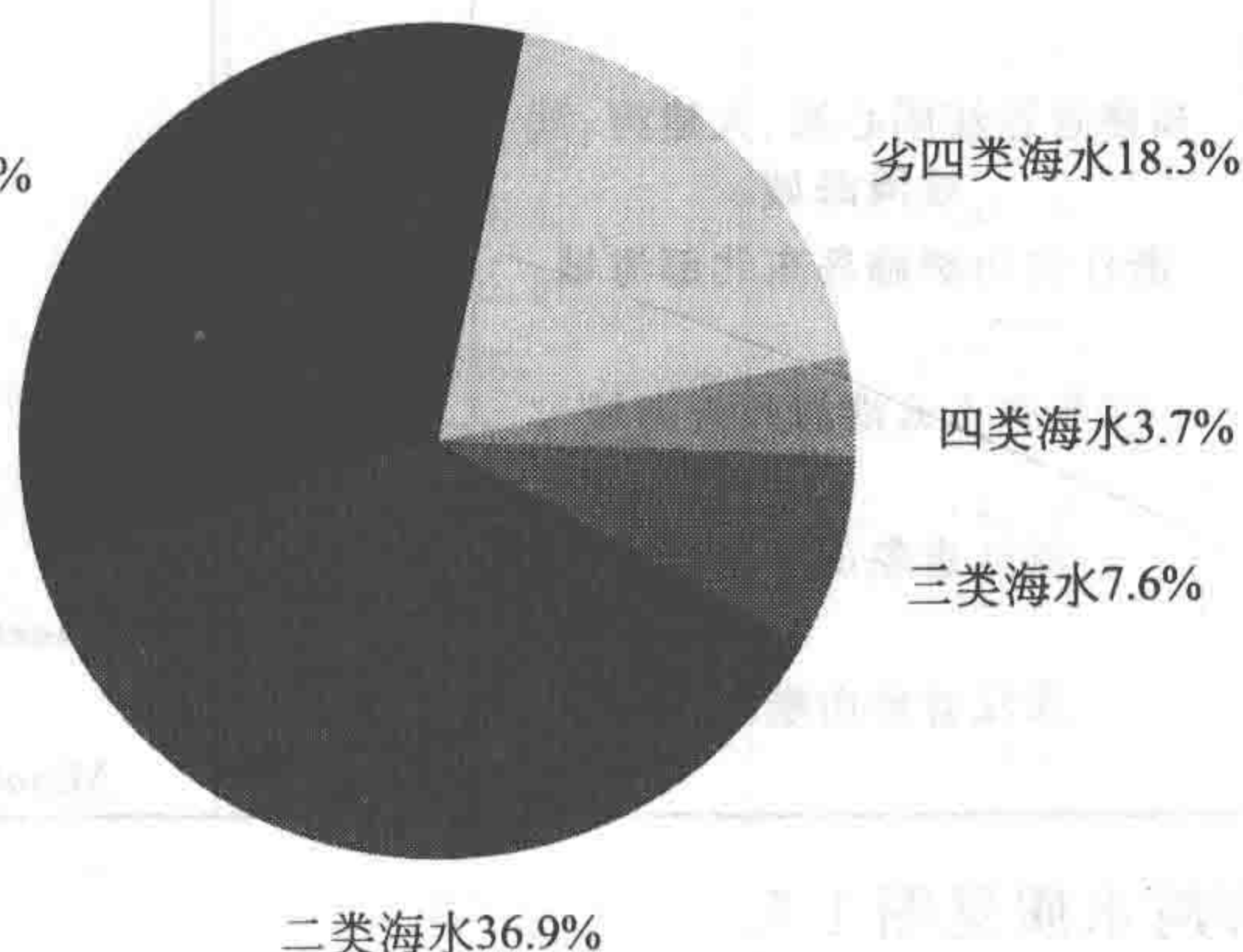


图 1-4 2015 年近岸海域水质

2010年中国沿海共发生赤潮69次，累计面积10892km<sup>2</sup>。其中，渤海7次，累计面积3560km<sup>2</sup>；黄海9次，累计面积735km<sup>2</sup>；东海39次，累计面积6374km<sup>2</sup>；南海14次，累计面积223km<sup>2</sup>。

2010年赤潮多发期为5~9月，如表1-2所列。高发区为东海（发生次数和累计面积分别占全海域的56.5%和58.5%），大面积赤潮主要发生在渤海西部海域、浙江和福建沿海。2010年全海域赤潮中，有优势种记录的赤潮66次，引发赤潮的生物种类主要为东海原甲藻、夜光藻、中肋骨条藻和米氏凯伦藻等，一些赤潮是由两种或两种以上赤潮生物共同形成。

表 1-2 2010 年中国沿海面积 100km<sup>2</sup> 以上的部分赤潮过程

起止时间	影响区域	最大面积 /km <sup>2</sup>	赤潮生物优势种类
5月1日~10日	福建省长乐至平潭沿岸海域	620	东海原甲藻、夜光藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i> 、 <i>Noctiluca scintillans</i>
5月4日~21日	浙江省苍南大渔湾附近海域	400	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月4日~26日	福建省福宁湾、大嵛山、四礐列岛、西洋岛海域	925	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月5日~13日	福建省莆田南日岛海域	600	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月11日~6月1日	浙江省玉环东部海域	110	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月14日~27日	浙江省舟山朱家尖东部海域	1040	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月20日~29日	浙江省南麂附近海域	100	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月26日~6月10日	浙江省苍南海域	100	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
5月30日~6月7日	江苏省启东以东海域	400	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>
6月1日~9日	福建省福鼎牛栏岗海水浴场至霞浦大京海水浴场	180	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>

起止时间	影响区域	最大面积 /km <sup>2</sup>	赤潮生物优势种类
6月3日~12日	天津港锚地附近海域	140	夜光藻 <i>Noctiluca scintillans</i>
6月7日~13日	福建省连江同心湾、大建湾、黄岐湾海域	150	东海原甲藻 <i>Prorocentrum donghaiense</i>
6月8日~11日	浙江舟山泗礁岛东北部海域	300	中肋骨条藻 <i>Skeletonema costatum</i>
7月5日~7日	江苏省连云港海州湾海域	100	链状裸甲藻 <i>Gymnodinium catenatum</i>
7月21日~25日	浙江省象山港海域	120	旋链角毛藻、红色中缢虫 <i>Chaetoceros curvisetus</i> 、 <i>Mesodinium rubrum</i>
8月4日~9日	浙江省象山港海域	190	红色中缢虫、旋链角毛藻 <i>Mesodinium rubrum</i> 、 <i>Chaetoceros curvisetus</i>

2015年重要海湾水质见图1-5。

9个重要海湾水质

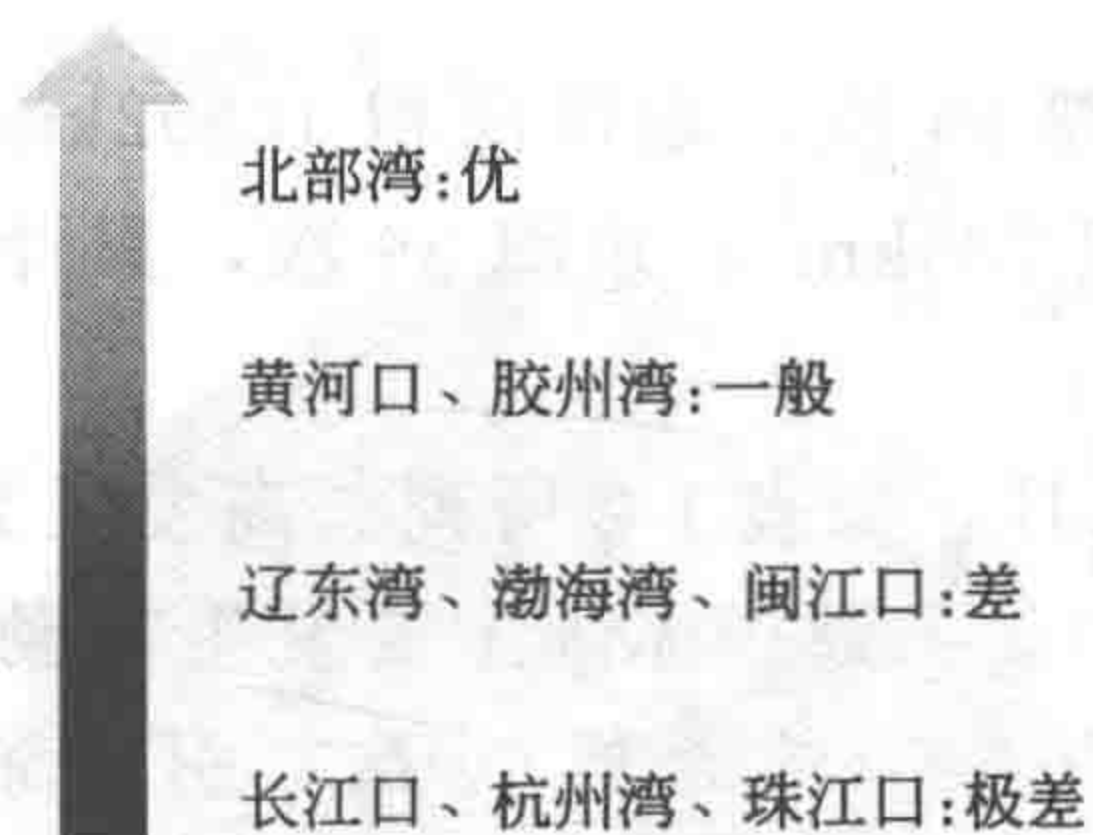


图 1-5 2015 年重要海湾水质

## 1.2 水污染物质及危害

我国各类水体遭受污染，其基本来源是点源和面源两类。属点源的有工业废水、城市生活污水与畜禽养殖场废水与废物；属面源的有农田径流（含农药、化肥、有毒物质等）以及垃圾填埋场的渗滤液、工矿企业的尾矿坝渗滤液等。

192 个人海河流监测断面水质总体较差，河流污染物入海量大于直排海污染源污染物入海量。东海的河流污染物入海总量远高于其他海区。192 个人海河流断面主要污染物排海总量约为：高锰酸盐指数 396.4 万吨，氨氮 65.7 万吨，石油类 5.21 万吨，总磷 23.67 万吨。

461 个日排污水量大于 100t 的直排海工业污染源、生活污染源和综合排污口的污水排放总量为 50.92 亿吨，各项污染物排放总量为：化学需氧量 21.94 万吨，石油类 1215t，氨氮 22870t，总磷 2901t，汞 244.6kg，六价铬 1076kg，铅 1064kg，镉 392kg。

我国 2008~2010 年废水排放及处理情况，如表 1-3 所示。通过节能减排和加大治理工作，取得了较好的成效，2010 年，全国化学需氧量排放总量 1238.1 万吨，比 2009 年下降 3.09%；与 2005 年相比，化学需氧量下降了 12.45%，均超额完成 10% 的减排任务。新增城市污水日处理能力 1900 万立方米，污水日处理能力达到 1.25 亿立方米。在主要污染物总量减排中，工程减排、结构减排和管理减排三大措施继续全面发挥效益，究其原因，主要有：①从以往的着重点末端治理转向清洁生产全过程控制，推行清洁生产循环经济及建立工业生态园等；②从点源治理转向分散治理与集中治理相结合；③从浓度控制转向浓度与总量有机相结合。

表 1-3 我国废水排放及处理情况 (2008~2010 年)

指标	年 份		
	2008	2009	2010
工业废水排放总量/亿吨	572.0	589.2	617.3
工业废水排放总量/亿吨	241.7	234.4	237.5
直接排入海的/万吨	158711.0	134695.0	149800.0
工业废水排放达标量/亿吨	223.4	220.9	
生活污水排放总量/亿吨	330.0	354.7	379.8
化学需氧量排放总量/万吨	1320.7	1277.5	1238.1
工业/万吨	457.6	439.7	434.8
生活/万吨	863.1	837.8	803.3
氨氮排放量/万吨	127.0	122.6	120.3
工业/万吨	29.7	27.3	27.3
生活/万吨	97.3	95.3	93.0
废水治理设施/套	78725	77018	
废水治理设施处理能力/(万吨/d)	22897	22703	
本年运行费用/万元	4529006	4784925	

水污染物种类很多,根据对环境污染造成的危害不同,将污染物划分为以下几种。

### 1.2.1 固体污染物

水中固体污染物质的存在形态有悬浮状态、胶体状态和溶解状态三种。呈悬浮状态的物质通常称悬浮物,是指颗粒粒径大于 100nm 的杂质,这种杂质造成水质显著混浊。其中颗粒较重的多数是泥沙类的无机物,以悬浮状态存在于水中,在静置时会自行沉降。颗粒较轻的多为动植物腐败而产生的有机物,浮在水面上。悬浮物还包括浮游生物及微生物。

所谓胶体状态的物质是指粒径大致在 1~100nm 之间的杂质。胶体杂质多数是黏土性无机物胶体和高分子有机胶体。高分子有机胶体是相对分子量很大的物质,一般是水中的植物残骸经过腐烂分解的产物,如腐殖酸、腐殖质等。黏土性无机胶体则是造成水质混浊的主要原因。胶体杂质具有两种特性:一是由于单位容积中胶体的面积很大,因而吸附大量离子而带电性,使胶体之间产生电性排斥力而不能相互黏结,颗粒始终稳定在微粒状态而不能自行下沉;二是由于光线照射到胶体上被散射而导致混浊形象。

呈溶解状态的物质,其颗粒大约在 1nm 以下,主要以低分子或离子状态存在。这种杂质不会产生水的外表混浊形象。例如,食盐溶于水,水仍然是透明的。低分子物质主要有有机酸、有机碱、氨基酸和碳水化合物等。呈离子状态的主要有阳离子  $H^+$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Fe^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Al^{3+}$ 、 $NH_4^+$  等和阴离子  $OH^-$ 、 $HCO_3^-$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$  等。

水中固体污染物质主要是指固体悬浮物。水力冲灰、洗煤、冶金、屠宰、化肥、化工、建筑等工业废水和生活污水中都含有悬浮状的污染物,大量悬浮物排入水中,造成外观恶化、混浊度升高,改变水的颜色。悬浮物沉于河底淤积河道,危害水体底栖生物的繁殖,影响渔业生产;沉积于灌溉的农田,则会堵塞土壤孔隙,影响通风,不利于作物生长。

### 1.2.2 有机污染物

我国多数污染河流的特征属于有机污染,表现为水体中 COD、BOD 浓度增高。有机污染物是指以碳水化合物、蛋白质、氨基酸以及脂肪等形式存在的天然有机物质及某些其他可生物降解的人工合成有机物。这些有机物主要来自于生活污水和部分工业废水。有机污染物

排入水体后,使水体中的物质组成发生变化,破坏原有的物质平衡。同时,它们也参与水体中的物质转化和循环过程,通过一系列的物理、化学、物理化学和生物化学反应而被分解或分离,使水体基本或完全恢复到原来的状态,即原有的生态平衡得到恢复。这个过程就是水体自净。地面水体对有机物有一定的自净能力,废水排入水体后,如果水中有充足的溶解氧,而且还能够不断从大气中得到补充,使溶解氧量保持在一定水平以上,说明进入水体的有机污染物没有超过水体的自净能力。这时有机物在水体中进行的是好氧分解。

如果排入水体的有机物过多,大量消耗了水中的溶解氧,从大气补充的氧也不够需要,这说明排入的有机污染物超过了水体的自净能力,水体将出现由于缺氧而产生的一些现象。当溶解氧长期处于 $4\sim 5\text{mg/L}$ 以下时,一般的鱼类就不能生存,如果完全缺氧,有机污染物将转移厌氧分解,产生硫化氢、甲烷等还原性气体,使水中动植物大量死亡,而且可使水体变黑变浑,发生恶臭,环境受到破坏。

### 1.2.3 油类污染物

油类污染物主要来自于含油废水。水体含油达 $0.01\text{mg/L}$ 即可使鱼肉带有特殊气味而不能食用。含油稍多时,在水面上形成油膜,使大气与水面隔离,破坏正常的充氧条件,导致水体缺氧,同时油在微生物作用下的降解也需要消耗氧,造成水体缺氧;油膜还能附在鱼鳃上,使鱼呼吸困难,甚至窒息死亡;当鱼类产卵期,在含油废水的水域中孵化的鱼苗,多数产生畸形,生命力低弱,易于死亡。含油废水对植物也有影响,妨碍光合作用和通气作用,使水稻、蔬菜减产;含油废水进入海洋后,造成的危害也是不言而喻的。

### 1.2.4 有毒污染物

废水中有毒污染物主要有无机化学毒物、有机化学毒物和放射性物质。

无机化学毒物主要指重金属及其化合物。很多重金属对生物有显著毒性,并且能被生物吸收后通过食物链浓缩千万倍,最终进入人体造成慢性中毒或严重疾病。如著名的日本水俣病就是由于甲基汞破坏了人的神经系统而引起的;骨痛病则是镉中毒造成骨骼中钙的减少的结果,这两种疾病都会导致人的死亡。

有机化学毒物主要指酚、硝基物、有机农药、多氯联苯、多环芳香烃、合成洗涤剂,这些物质都具有较强的毒性。它们难以降解,其共同的特点是能在水中长期稳定地留存,并通过食物链富集最后进入人体。如多氯联苯具有亲脂性,易溶解于脂肪和油中,具有致癌和致突变的作用,对人类的健康构成了极大的威胁。

放射性物质主要来源核工业和使用放射性物质的工业和民用部门。放射性物质能从水中或土壤中转移到生物、蔬菜和其他食物中,并发生浓缩和富集于人体。放射性物质释放的射线会使人的健康受损,最常见的放射病就是血癌,即白血病。

### 1.2.5 生物污染物

生物污染物是指废水中含有的致病性微生物。污水和废水中含有多种微生物,大部分是无害的,但其中也有含对人体与牲畜有害的病原体。如制革厂废水中常含有炭疽杆菌,医院污水中有病原菌、病毒等。生活污水中含有引起肠道疾病的细菌、肝炎病毒、SARS和寄生虫卵等。

### 1.2.6 酸碱污染物

酸碱污染物排入水体会使水体pH值发生变化,破坏水中自然缓冲作用。当水体pH值



小于 6.5 或大于 8.5 时，水中微生物的生长会受到抑制，致使水体自净能力减弱，并影响渔业生产，严重时还会腐蚀船只、桥梁及其他水上构筑物。用酸化和碱化的水灌溉农田，会破坏土壤的物化性质，影响农作物的生长。酸碱对水体的污染，还会使水的含盐量增加，提高水的硬度，对工业、农业、渔业和生活用水都会产生不良影响。

### 1.2.7 营养物质污染物

这里的营养物质是指氮、磷。在人类长期活动的影响下，生物所需要的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流区，引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖，水体溶解氧下降，水质恶化，鱼类及其他生物死亡。这种现象称为富营养化。水体出现富营养化时，浮游生物大量繁殖，因占优势的浮游生物的颜色不同，水面往往出现蓝色、红色、棕色、乳白色等。这种现象在江河湖泊中称为水华，在海中则为赤潮。

### 1.2.8 感官污染物

感官污染物是指水体中能引起人们感官上的不愉快。如带有颜色或异味，水体出现浑浊、恶臭、泡沫等。

### 1.2.9 热污染

废水排放引起水体的温度升高，称为热污染。热污染会影响水生生物的生存及水资源的利用价值。水温升高还会使水中溶解氧减少，同时加速微生物的代谢率，使溶解氧的下降更快，最后导致水体的自净能力降低。如铝厂、热电厂、金属冶炼厂、石油化工厂等排放高温的废水。

污废水中的各种污染物对环境和人类的危害程度和作用方式是不同的。如表 1-4 列出污废水中的主要污染物及其危害特征。

表 1-4 污废水中的主要污染物及其危害特性

序号	分类	污染物	主要危害特征												
			浊度	色度	恶臭	传染病	耗氧	富营养化	硬度	毒性	油污染	放射性	酸化	易积累	易富集
1	致浊物	尘、泥、土、砂、灰、渣、漂浮物	○	◎	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎		○	
2	致色物	色素、染料		○											
3	致臭物	胺、硫醇、硫化氢、氨			○			◎	◎		◎				
4	病原微生物	病菌、病毒、寄生虫	◎			○	◎	◎		◎					
5	需氧有机物	碳水化合物、蛋白质、氨基酸、木质素、脂肪酸	◎	○	○	◎	○	◎	◎						
6	植物营养物	硝酸盐、铵盐、磷酸盐、有机氮、洗涤剂		◎	○			◎	○					○	
7	无机有害物	酸、碱、盐类							○					◎	
8	重金属	汞、铬、镉、铅、砷、铜		◎							○			○	○
9	易分解有机毒物	酚、苯、醛、有机磷农药		◎				○			○				
10	难分解有机毒物	DDT、666、狄氏剂、多环芳烃						◎			○			○	○
11	硫、氮氧化物	SO <sub>2</sub> 、氮氧化物											○		

注：○表示危害程度轻；◎表示危害程度重。